Title

Ergonomics Assessment for Manual Materials Handling of Livestock Feed by Elderly Farmers in Korea

ABSTRACT

Objective: The purpose of the study is to evaluate appropriate weights for aged farmers in manually handling livestock feed in bags using ergonomic methods.

Background: In the livestock industry in South Korea, despite the trend of aging of labor manpower, heavy items are still manually handled in many farms. In particular, among stockbreeding works, the handling of feed in bags weighing 25-30kg is reported as a cause of frequent injuries and musculoskeletal system diseases. However, studies on the standard for recommended weights allowed considering the physical characteristics of aged farmers older than 60 years with greatly decreased physical strength and muscle strength are insufficient.

Method: To evaluate appropriate weights for handling of heavy livestock feed in bags, psychophysical techniques for measuring recognized levels of physical workloads, the NLE method that is an observation type technique, and an ergonomic modeling technique to predict compressive force imposed on L5/S1 were used. Subjects who participated in the experiment were organized into two groups of males/females with mean ages exceeding 60 years and lifting tasks were evaluated for nine weight levels.

Results: Based on the results of psychophysical measurement, females showed a tendency of more drastic increases compared to males when weights were over 19kg. The results of estimation of regression models for the weights, 18.0 kg (r^2=0.97) and 15.3kg (r^2=0.97) were evaluated as stable loads for males and females respectively. In addition, both the observation type evaluation and ergonomic model evaluation showed stable loads in a range of 15-18kg.

Conclusion: Given the results of the study, the weight of the feed in bags currently being distributed to farms can become a cause of not only overexertion but also farm work related disasters such as musculoskeletal disorders and safety accidents. Providing livestock feed in bags weighing not more than 19kg for aged farmers is judged desirable and managerial improvement for this matter is considered necessary.

Application: The results of the present study can be utilized as useful data for institutional improvement of the weight of livestock feed in bags.

Keywords

Manual material handling, Psychophysical approach, Biomechanical technique, Livestock work, Elderly farmers

1. Introduction

한국의 축산업은 농장 시설의 현대화 및 자동화로 인해 사육두수 증가와 농작업의 효율성이 크게 향상되었다. 또한 축산업과 축산연관산업은 국민경제에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며, 지금까지 꾸준하게 양적으로 성장해왔다(Kim et al., 2014). 그러나 최근 축산 농가인구 감소추세와 더불어 노동 인력의 고령화는 갈수록 심화되고 있는 추세이다. 전체 농업 농가수 가운데에 65 세 이상의 농가 비율을 나타내는 고령화 비율 조사결과, 농업 분야 36.8% 대비 축산 분야는 44.3%로 7.5% 높게 나타나 축산 분야의 고령화가 상대적으로 심각함을 보였다(KOSTAT, 2014). 인력이 요구되는 많은 농작업 부분은 기계화 및 자동화가 이루어 졌으나 여전히 인간의 힘을 동력원으로 중량물을 취급하는 농작업이 존재하는 게 현실이다.

축산에서 가축 포대사료 운반은 인력에 의한 중량물 취급(Manual Materials Handling; MMH)의 대표적 사례이다. 일반적으로 농가에 유통되고 있는 포대사료는 무게가 포대 단위 25-30kg 으로 고령 농업인 및 여성의 경우 신체적 특성에 적합하지 않아 빈번한 부상 및 안전사고(e.g. 요통, 척추손상 등)를 초래하기도 한다(Drury and Pizatella, 1983; Mital and Asfour, 1983). 농부병의 대표적 질환인 근골격계질환은 이와 같은 MMH 와 높은 연관성이 있는 것으로 밝혀졌고(Fathallah, 2010), 특히 신체적으로 체력 및 근력이 크게 감소하는 60 세 이상의 고령 농업인에게는 더욱더 위험요인으로 작용하여 이를 예방하는 것은 중요하다.

중량물 취급과 관련된 국내외 가이드 및 관련 법령을 살펴보면, 안전보건공단(2011)의 허용중량권고기준과 중량물 들기 작업에 관한 특별조치에 따르면 50 세 이상인 경우, 일시 작업 시에 남자는 25kg, 여자는 15kg, 반복작업 시에는 남자 10kg 과 여자 5kg 을 권장기준으로 제시하고 있다. 미국의 국립산업안전보건연구원(National Institute for Occupational Safety & Health; NIOSH)에서는 안전한계 보호수준을 제공하고, 1993 년에 90%의 성인 남녀가 수용할 수 있는 최대중량을 23kg 을 제시하고 있다(John et al., 2007). IOSHIC (International Occupational Safety & Health Information Center)는 51 세 이상 작업자에 대한 중량물 권고기준을 남자는 16kg, 여자는 10kg 을 제시하고 있다. 그 밖의 오스트레일리아 직업 보건 안전법령에 따르면 혼자 힘으로 16kg을 초과하는 물체는 취급하지 말아야 하며, 어떤 작업도 15 분 동안 240kg 을 초과를 금하고 포대 등의 물체 취급을 금지한다고 공포하였다. EN 에서는 들어 올리기 작업의 안전 한계 하중을 25kg 으로 규정하고 있으며, 이는 남성 근로자의 99%와 여성근로자의 72-75%를 포함하는 안전기준이다. ISO 표준(ISO 11228-1)에서는 95%의 성인 남성과 70%의 성인 여성이 들어 올릴 수 있는 최대중량을 25kg 으로 제시하고 있다(IS0, 2003). 국제노동기구(International Labor Organization; ILO)에서는 50 세 이상 작업자의 경우 남성 16kg, 여성 10kg 을 권고기준을 제시하고 있다. 이와 같이 국내의 중량물 취급 권고기준으로 볼 때 현재 농가에 유통되고 있는 포대사료의 무게는 고령 농업인의 신체적 능력을 초과한 것으로 판단된다. Table 1 은 50 세 이상의 작업자에 대한 ILO 권고치와 국내외 국가의 권장기준을 보여준다.

Table 1. Recommended standards for heavy weight handling of workers (aged 50 or older)

Classification	Work condition	Male (kg)	Female (kg)
ILO	-	13.6	9.8
Korea & Japan	Temporary (2 times/hour)	25	15
	Continuously (3times/hour or more)	10	5
U.S	-	16	10

한국의 축산 포대사료 포장규격 법률을 살펴보면, 지대 포장 및 톤백 포장에 대하여 디자인 및 중량 표기에 대한 내용은 명시하고 있으나(MAFRA, 2009), 포장 단위 당 한계중량에 대한 지침 및 규정은 내용에 포함되지 않고 있다. 이와 같이 축산 포대사료에 대한 허용권고중량에 대한 사항이 없는 현실이다. 이에 고령 농업인은 기존에 유통되고 있는 포대사료의 무게에 맞추어 MMH 를 수행하게 되어 근골격계질환 등의 요인에 직접 노출되어 있는 것으로 판단된다. 따라서 이에 대한 객관적 평가를 통한 기준 제시와 관리 및 제도적 개선을 위한 노력이 요구된다. 이에 본 연구에서는 가축사료 취급 작업 현장에서 주로 수행하고 있는 들기작업에 대하여 인가공학적 기법들을 이용하여 남녀에 따른 차이 검토와 적정 무게 수준을 평가하고자 한다.

2. Methods

2.1 Evaluation method

본 연구에서는 들기작업에 대한 평가를 위해 인간공학 분야에서 주로 활용되고 있는 정신물리학적 기법(Psychophysical technique), 관찰형 모델 기법(Observation model technique), 인체역학 기법(Biomechanical technique)을 사용하였다.

정신물리학적 기법으로 Borg's CR10 scale 을 이용하였다. Borg REP (Rating of perceived exertion) 지수는 신체의 생리적 피로를 심리적으로 접근하여 개발된 것으로 오늘날 육체적 작업부하 및 신체적 활동 강도를 측정하는데 많이 사용하고 있다(Marriot and Lamb, 1996; Sanders and McCormick, 1992; Kroemer et al., 1990). Borg's CR10 scale 은 1 (Very light)은 건강한 사람이 장시간 자신의 생각대로 일을 하여도 힘들지 않을 정도의 수준, 3(Moderate)은 특별히 힘들다고 느끼지 않으며 8 시간 동안 작업을 하는데 문제가 없을 정도의 수준, 그리고 5 (Hard)는 육체적으로 힘듦과 피곤함을 느끼는 수준 설명되고, Scale 3 을 정신물리학적 안전하중으로 제안하고 있다(Borg, 1998).

관찰형 모델 평가에서는 NLE 는 RWL (Recommended Weight Limit)과 LI (Lifting Index)를 산출하여 들기작업 분석에 적용할 수 있다(NIOSH, 1994). NLE 는 최근 한국의 농작업 개선의 일환으로 수확물 들기작업에 적용되었고(RDA, 2010), 또한 산업현장에서 다양한 형태의 들기작업 평가에 주로 사용되고 있다. NIOSH 는 LI 값이 1.0 이내이면 안전한 작업으로, 1.0~2.0 사이 값이면 일부 작업자에게, 2.0~3.0 이면 많은 작업자에게, 3.0 을 초과하면 대부분의 작업자에게 위험한 작업으로 분류하고 있다(NIOSH, 1994). Wang et al. (1998)은 NLE 관련 연구에서 LI 값이 1.7~2.0 을 넘으면 요통 발병이 증가하는 시점으로 보고하였다.

인체역학적 신체부담 평가는 L5/S1 요추에 발생하는 Compressive force 값을 예측하기 위해 인체역학적 모형화 기법을 사용하였다. 이를 위해 University of Michigan 의 3DSSPP (3D Static Strength

Prediction Program)을 이용하였다. NIOSH 에서는 L5/S1 compressive force 값의 크기에 따라 생체역학적 기준인 행동한계를 3400N, 최대 허용한계를 6400N 을 기준으로 들기작업 부하를 분류하고 있다(NIOSH, 1981). 4500N 이상이면 요통 발병율이 10% 이상으로 증가하는 것으로 알려져 있다(Chaffin and Park, 1973).

Fig. 1 는 본 연구에서 적용한 Borg's CR-10 scale 과 3DSSPP 의 예를 보여준다.

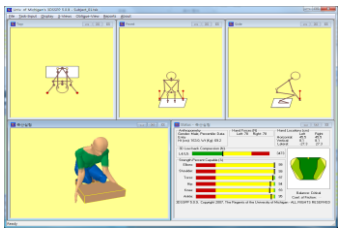
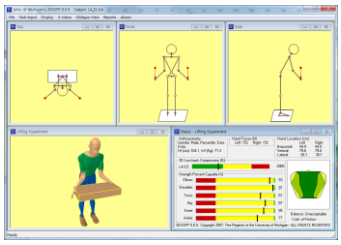
RPE (Rating of perceived exertion)		3D Static Strength program
0	Nothing at all	
0.5	Very, very light	
1	Very light	
2	Fairly light	
3	Moderate	
4	Somewhat hard	Start posture
5	Hard	
6		
7	Very hard	
8		
9		
10	Very, very hard	End posture

Figure 1. Borg's CR-10 scale and 3D static strength prediction program

2.2 Subjects

실험에 참여한 피험자들은 과거와 현재 근골격계질환(Musculoskeletal Disorder) 및 신경학적 증후(Neurological Sign)와 관련된 질환이 없었으며, 최근 6개월 이내에 허리 통증으로 인하여 병원에서 치료를 받은 경험이 없고, 현재 정상적인 활동이 가능하다. 실험에 참여한 피실험자의 평균 연령은 남자는 평균 64.6세, 여자는 61.1세로 2개 그룹(남자: 7명, 여자: 7명)으로 구성하였다. Table 2은 참가자의 평균연령, 신장, 몸무게를 보여주고 있다.

Table 2. Characteristics of subjects

Gender	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)
Male	64.8 (±SD: 0.5)	164.1 (±SD: 5.8)	71.3 (±SD: 8.6)
Female	61.1 (±SD: 3.7)	158.1 (±SD: 3.0)	66.6 (±SD: 7.2)

*SD: Standard Deviation

2.3 Apparatus

본 연구에서 들기작업 시에 사용된 시료는 농작업 현장에서 일반적으로 유통되고 있는 축산용 포대사료(가로 100cm×세로 80cm× 높이 20cm)를 선택하였고, 기존의 포장규격 및 형태는 유지한

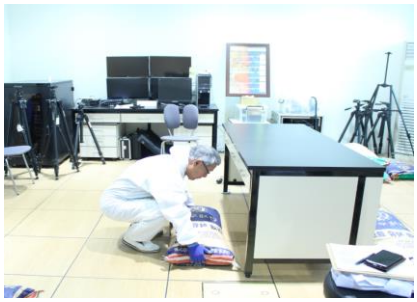
상태에서 내용물의 무게를 조절하였다. 시료의 무게는 ILO 중량물 취급 권장기준 최소 무게인 10kg 과 ISO (ISO 11228-1)에서는 95%의 성인 남성과 70%의 성인 여성이 들어 올릴 수 있는 최대중량을 25kg, 실제 축산 현장에서 취급되고 있는 최대 무게인 30kg 이 포함 되도록 9 개 수준(7kg, 10kg, 13kg, 16kg, 19kg, 22kg, 25kg, 28kg, 31kg)으로 구성하였다. 들기작업을 위한 작업대는 가로 150cmx 세로 80x 높이 73cm 의 책상을 사용하였다. 피실험자의 인체 제원 측정기(Anthropometric measurement device)는 신장·체중 측정기(SH-9600A-1), 줄자, Goniometer 를 사용하였다.

2.4 Experimental design

본 실험에서 독립변수는 성별, 무게수준으로 각각의 Treatment 마다 7회 반복측정을 실시하였다. 실험 횟수는 총 882회(2x7x9x7=882)를 실시하게 된다. 제한변수는 동일한 포대사료 규격, 작업대 높이, 신체적으로 자신이 안전하게 들어 올릴 수 있는 자세를 기준으로 작업을 수행하도록 하였다. 종속변수는 육체적 작업부하 자각도이고, 1회 들기작업 이후 바로 측정하였다. 피실험자는 제시된 무게를 알지 못하며, 들기 순서는 무작위로 이루어 진다. 그리고 피로회복 또는 신체적 근력 약화 등으로 인한 측정의 오염을 최소화하기 위하여 1회 들기 작업 후 충분한 회복이 가능하도록 10분의 휴식시간을 제공하였다.

2.5 Experimental procedure

실험에 앞서 실험방법과 실험목적 및 주의사항에 대한 설명이 이루어졌으며, 실험 참여에 동의한 피실험자의 인체 제원(i.e., 연령, 신장, 체중 등)을 측정하였고, 실험 전에 예비 테스트 시에 NLE, 3DSSPP 평가에 적용할 자료를 위해 들기 전의 자세(Start)와 최종 목표지점에서의 자세(End)를 Camcorder로 촬영하고, 필요한 인체를 계측하였다. 본 실험은 피실험자가 물건을 들어 올리는데 안정된 발의 위치와 손잡이 위치를 선정하도록 하여 들기작업을 수행하였다. 그리고 매번 들기작업 이후 육체적 작업부하 자각도 정도를 체크하였다. Fig. 2은 실험장면을 보여준다.



Start posture

End posture

Figure 2. Experiment of lifting tasks

3. Results and discussion

3.1 Psychophysical evaluation

Borg's CR10 Scale 측정결과, 육체적 작업부하에 대한 자각도는 독립변수에 대하여 통계적으로 유의한 차이를 보였고(p-value<0.0001)(Table 3), 성별과 무게수준에 따른 교호작용이 있는 것으로 나타났다(p-value<0.0001).

Table 3. Results of ANOVAs of physical workload awareness

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-value	Prob.> F
Corrected Model	931.41	17	54.79	58.30	<.0001*
Intercept	1870.72	1	1870.72	1990.49	<.0001*
Gender	40.37	1	40.37	42.95	<.0001*
Weight	854.69	8	106.84	113.68	<.0001*
Gender*Weight	36.35	8	4.54	4.84	<.0001*
Error	101.50	108			
Total	2903.63	126			

Signification at a level: *0.0001

Table 4. Results of Interaction Effects in ANOVA

Interaction	Mean	SD	Subset	F-value	Prob. > F
Male*7kg	0.00	0.00	A	52.28	<.0001*
Female*7kg	0.71	0.76	A		
Male*10kg	1.31	1.23	B		
Female*10kg	0.00	0.00	B		
Male*13kg	3.18	0.50	B		
Female*13kg	3.31	1.10	C		
Male*16kg	1.02	1.03	CD		
Male*19kg	4.31	0.57	CD		
Female*16kg	4.92	1.17	CD		
Female*19kg	2.57	1.46	CD		
Male*22kg	4.96	0.37	DE		
Male*25kg	6.88	1.53	EF		
Male*28kg	3.45	0.49	EF		
Female*22kg	3.73	1.37	F		
Female*25kg	5.52	0.98	G		
Male*31kg	6.62	1.49	HI		
Female*28kg	7.89	1.47	I		
Female*31kg	9.79	0.37	J		

Signification at a level: *0.0001

Table 4 는 성별과 무게 수준에 따른 교호작용 분석결과를 보여 주고 있다. 7kg 에서는 남녀의 차이가 없었고, 10-13kg 에서 남자의 경우 유의한 차이를 보이지 않았으나 여자의 경우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 남자의 경우 16-22kg, 여자의 경우 13-19kg 의 무게 수준에서 유의한 차이를 보이지 않았다. 남자의 경우 31kg 수준에서 급격히 증가한 반면에 여자의 경우 이보다 가벼운 22kg 이상의 무게 수준부터 급격하게 증가하는 추세를 보이고 있다. 즉 19kg 무게 수준을 기준부터 증가할수록 남자와 여자 간의 육체적 작업부하 격차가 점차적으로 커지는 경향을 보였다. 정신물리적 육체적 작업부하에 대한 회귀모델 추정결과 Scale 3 (특별하게 힘들다고 느끼지 않는 하중 수준)에서 남자는 17.96 kg (r^2=0.97), 여자는: 15.33kg (r^2=0.99) 분석되었다. 이와 같이 정신물리학적 평가결과, 여자의 경우 남성에 비해 19kg 이상의 수준에서 급격히 육체적 작업부하를 높게 느끼고 있음을 파악할 수 있다. Fig. 3 은 무게 수준과 신체적 작업부하에 대한 자각도와의 관계를 보여준다.

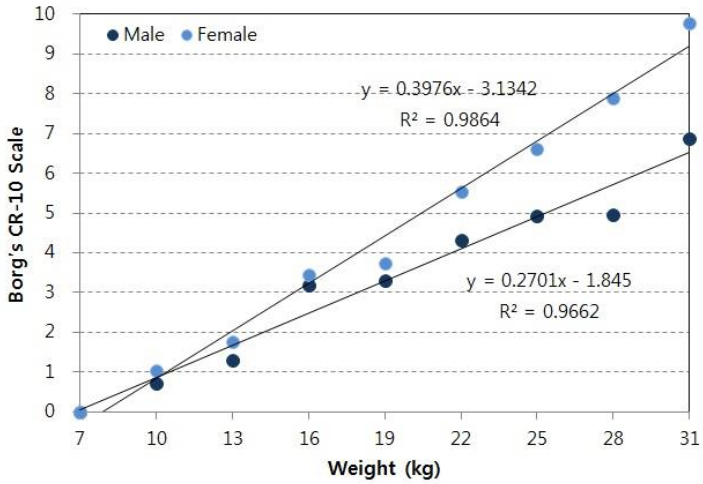


Figure 3. Relationship between physical workload awareness and weights

3.2 NLE (NIOSH lifting equation)

NLE 적용 시에 손의 수평위치는 피실험자와 운반작업에 따라 28~61cm 로 측정되었고, 수직위치는 바닥과 작업대 높이 73cm 이다. 포대사료 운반 작업은 보통 하루 10 회 이내 간헐적으로 이루어져 지는 것으로 가정했을 때, 들기작업 회수는 분당 0.2 회 이내이고, 들기작업 시간은 1 시간 이내로 설정하였다. 그리고 포대사료에는 손잡이가 없으므로 Coupling 계수는 Poor 로 하였다. NLE 평가 결과, RWL 는 8.10-11.06 으로 나타났다. Table 5 에 LI 값이 1.0 이내, 1.0~2.0 사이 값, 2.0~3.0 사이 값, 3.0 초과를 기준으로 음영을 구분하여 표현하였다.

NLE 분석결과 7kg 들기작업에서는 남녀 모두 LI 값이 1.0 이하로 나타나 안전한 작업을 보이고 있고, 16kg 수준까지 LI 가 1.0 보다는 크더라도 2.0 를 넘지 않아 대체로 안전한 작업으로 볼 수 있다. 19kg 이상의 들기작업에서는 LI 가 2.0 이상이 분포되어 많은 작업자에게 근골격계질환을 유발할 수 있는 위험한 수준인 것으로 분석되었다. 그리고 22kg 이상부터는 대부분이 LI가 2 이상으로 분포되어 많은 피실험자에게 위험한 수준임을 보이고 있다(Table 5). 요통 발병이 유발되는 시점인 LI 값 1.7-2.0 에서의 회귀식 모델 추정결과 15.5-18.2kg (r^2=0.99), 여자는 15.5-18.3kg (r^2=0.99)으로 남녀 모두 거의 동일 값을 보였다(Fig. 4).

Table 5. Results of NLE evaluation

Gender	Subject	RWA	LI								
			7kg	10kg	13kg	16kg	19kg	22kg	25kg	28kg	31kg
Male	S1	9.65	0.67	1.04	1.35	1.66	1.97	2.28	2.59	2.90	3.21
	S2	9.82	0.71	1.02	1.32	1.63	1.93	2.24	2.55	2.85	3.16
	S3	10.08	0.69	0.99	1.29	1.59	1.89	2.18	2.65	2.96	3.08
	S4	9.45	0.74	1.06	1.38	1.69	2.01	2.33	2.90	2.96	3.28
	S5	8.62	0.81	1.16	1.51	1.86	2.20	2.55	2.92	3.25	3.59
	S6	8.56	0.82	1.17	1.52	1.87	2.22	2.57	3.36	3.27	3.62
	S7	8.10	0.94	1.23	1.61	1.98	2.35	2.72	3.09	3.46	3.83
Female	S8	9.54	0.74	1.06	1.38	1.69	2.01	2.33	2.65	2.96	3.28
	S9	10.43	0.67	0.96	1.25	1.53	1.82	2.11	2.40	2.69	2.79
	S10	8.03	0.87	1.25	1.62	1.99	2.37	2.74	3.11	3.49	3.86
	S11	11.06	0.63	0.90	1.18	1.45	1.72	1.99	2.26	2.53	2.80
	S12	8.40	0.83	1.19	1.55	1.91	2.26	2.62	2.98	3.33	3.69
	S13	8.42	0.83	1.19	1.54	1.90	2.26	2.61	2.97	3.33	3.68
	S14	8.42	0.83	1.19	1.54	1.90	2.26	2.61	2.97	3.33	3.68

*Note: ■ 1.0-2.0, ■ 2.0-3.0, ■ over 3.0

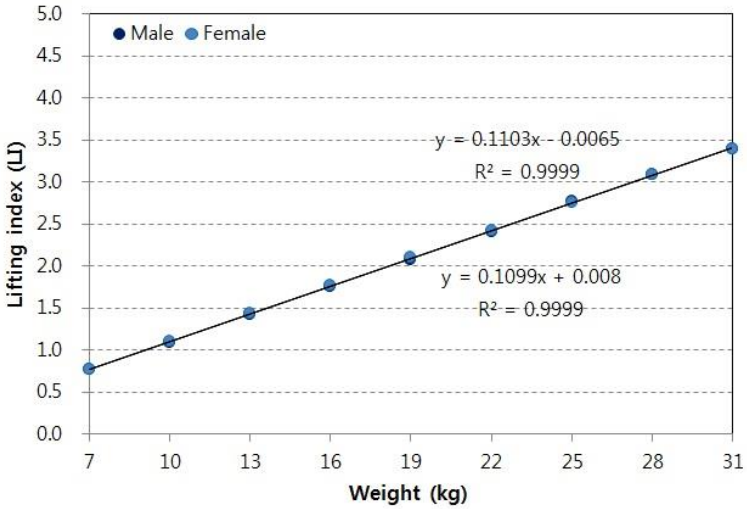


Figure 4. Relationship between LI and weights

3.3 Anthropometry model analysis

3DSSPP 를 이용한 L5/S1 compressive force 평가는 본 실험 시에 측정된 각 피실험자 마다 측정된 인체 측정치를 기준으로 들기 전의 자세(Start posture)와 최종 목표지점에서의 자세(End posture)를 기초로

모델링 하였다. 3DSSPP 분속 결과에 따라 Acceptable, Critical, Unacceptable 로 나타낼 수 있으며 그 값을 음영으로 구분하였다. 3DSSPP L5/S1 Compressive force 결과 값은 Table 6 에 정리되어 있다.

Table 6. Results of anthropometry model analysis

Gender	Subject	Weight (kg)	7	10	13	16	19	22	25	28	31
		lb	34.3	49.0	63.7	78.5	93.2	107.9	122.6	137.3	152.0
Male	S1	Start	2606	2898	3682	3483	3775	4067	4358	4650	4942
		End	1641	1821	1995	2165	2329	2487	2640	2788	2932
	S2	Start	2691	2977	3264	3552	3839	4125	4412	4698	4985
		End	1686	1861	2031	2197	2357	2511	2661	2806	2946
	S3	Start	2761	3050	3340	3631	3921	4210	4500	4688	5078
		End	1722	1897	2068	2234	2393	2548	2697	2842	2982
	S4	Start	3291	3603	3914	4228	4540	4852	5163	5475	5787
		End	1979	2156	2328	2494	2653	2806	2954	3095	3231
	S5	Start	2678	2977	3277	3578	3877	4176	4475	4775	5074
		End	1677	1860	2037	2209	2374	2535	2689	2839	2983
	S6	Start	2454	2747	3040	3334	3627	3918	4213	4506	4799
		End	1560	1744	1921	2095	2262	2423	2580	2731	2878
	S7	Start	2472	2591	2874	3150	3443	3727	4010	4294	4577
		End	1483	1663	1839	2010	2175	2335	2491	2641	2787
Female	S8	Start	2326	2447	2954	3270	3585	3899	4213	4528	4842
		End	1556	1774	1988	2200	2406	2609	2808	3003	3195
	S9	Start	2370	2679	2974	3301	3611	3920	4230	4540	4849
		End	1588	1803	2014	2223	2426	2625	2821	3013	3202
	S10	Start	2781	3099	3416	3736	4053	4371	4689	5006	5324
		End	1806	2017	2223	2427	2625	2819	3008	3194	3376
	S11	Start	2791	3117	3444	3772	4098	4424	4751	5077	5403
		End	1813	2030	2242	2451	2654	28.53	3047	3238	3424
	S12	Start	2459	2778	3097	3419	3738	4057	4376	4695	5014
		End	1632	1851	2065	2277	2483	2686	2885	3079	3271
	S13	Start	2310	2623	2936	3251	3563	3876	4189	4502	4815
		End	1533	1751	1964	2176	2382	2585	2783	2979	3171
	S14	Start	2296	2530	2917	3230	3541	3852	4163	4473	4981
		End	1539	1755	1967	2177	2382	2583	2780	2974	3164

*Note: ■ Acceptable, ■ Critical, and ■ Unacceptable

3DSSPP 결과에 따르면 남자는 13kg 이하, 여자는 10kg 이하에서 안정된 작업이 가능한 것으로 나타났다. 피실험자의 인체특성 및 성별에 따라 분석결과에 차이가 있으나 남자는 19kg, 여자는 16kg 수준 정도에서 어느 정도 받아 들일 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구결과에서는 NIOSH 에서는 L5/S1 compressive force 값의 크기에 따라 제시된 최대허용한계인 6400N 을 초과하는 경우는 없었으나, 들기작업 중 약 4500N 을 초과하는 경우가 13.5% 비율을 보였고, 생체역학적 기준인 행동한계 3400N 은 28.2%로 나타났다. 3400N 을 기준으로 L5/S1 Compressive force 회귀모델 추정결과, 남자는 14.14 kg (r^2=0.99) 여자는 15.81kg (r^2=0.99)으로 나타났다. 또한 요통 발생의 증가 시점인 NLE LI 값 1.7~2.0 (Wang et al., 1998)에서 추정된 값(남자: 3529-3790N, 여자: 3355-3646N)을 기준으로 3DSSPP L5/SI compressive force 무게를 추정하면 남자는 15.5-18.2kg, 여자는 15.4-18.1kg 로 평가되어 거의 동일한 수준의 무게를 보이고 있었다. Fig. 5 는 L5/S1 Compressive force 와 무게 수준과의 관계를 보여준다.

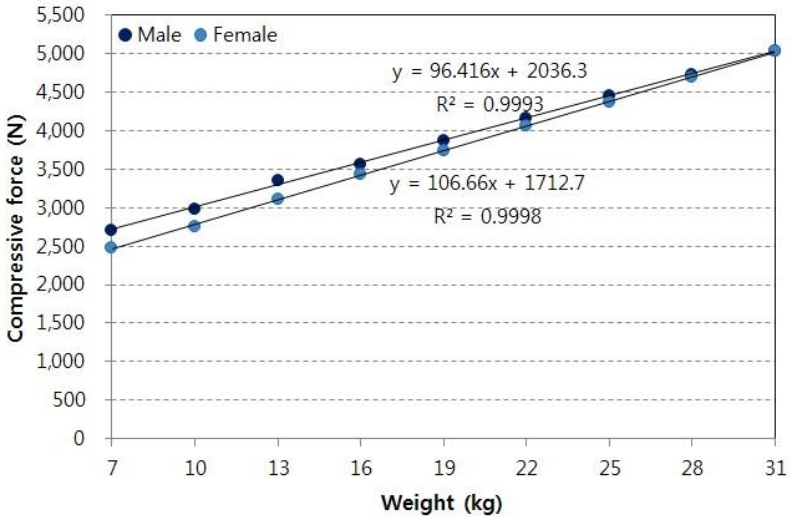


Figure 5. Relationship between compressive force and weights

3.4 Discussion

본 연구에서는 고령 농업인의 가축 포대사료 취급에 대하여 육체적 부담 자각도 측정(Borg's CR10 Scale), NLE 의 LI 평가를 통해 적정 무게 평가, 3DPPSS 를 이용한 L5/S1 compressive force 예측하여 남녀에 따른 차이를 분석하였다. 육체적 부담 자각도 측정의 경우 남자는 18.0kg, 여자는 15.3kg 로 나타났고, LI 평가결과 남녀 모두 15.5-18.2kg, 여자는 15.5-18.3kg 로 분석되었고, L5/S1 compressive force 에서는 남자는 15.5-18.2kg, 여자는 15.4-18.1kg 로 예측되었다. 평가방법에 따라 조금의 차이는 있으나 공통적으로 약 19kg 을 초과할 경우 요통의 발병 가능성이 있으므로 주의가 요구되는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 50 세 이상 작업자의 인력운반 중량 권고기준(KOSHA GUIDE G-76-2011)에서 제시된 일시 작업(남자 25kg, 여자 15kg)과 비교하며 60 세 이상의 남자의 경우 육체척 부담이 높을 것으로 보여진다. 이러한 결과는 일반적으로 농가에 유통되고 있는 25-30kg 사료 포대는 고령 농업인에게 육체적

작업부하와 더불어 근골격계질환, 안전사고 등의 원인이 될 수 있을 것이다. 따라서 고령 농업인의 신체적 특성을 고려한 포대사료 무게에 대한 관리적 개선이 필요할 것으로 사료된다. 또한 국내의 인력 운반중량권고 기준을 51 세 이상까지 제시하고 있고, 근력 저하율에 의해 추정하여 70 대 농업인이 중량물 취급 시에 한계무게를 남자 12kg, 여자 8kg 을 제시한 바는 있으나(RDA 농촌자원개발연구소, 2006), 여전히 실제 농가에 적용된 사례는 전무한 상태이다. 고령 농가인구의 증가와 더불어 재해율이 30 대 대비 2.5 배 높은 현실에서 60 세 이상의 허용 중량물 권고기준이 마련되어야 될 것으로 판단된다(KOSTAT, 2013).

본 연구에서 적용한 평가방법에 대한 적합성 여부를 검토하기 위해 육체적 작업부하 자각도(Borg's CR 10 scale), L5/S1 compressive force 값과 NLE LI 와의 관계를 추가적으로 분석하였다. 상관분석 결과 서로 상관계수 0.99 이상으로 매우 높은 상관관계를 보였다(p-value<0.01). 본 연구에서 요통 발병 시점으로 가정했었던 NLE LI 가 1.7-2.0 을 추정하면 육체적 작업부하 자각도는 2.7-3.6 (r^2=0.98), L5/S1 compressive forces (r^2=0.99)는 3441-3718.6N 으로 예측되고, 육체적 부하 자각도가 3 일 때 L5/S1 compressive force 와의 관계를 추정하면 3547.9N 으로 행동한계 시점인 3500N 과 거의 일치되었다(r^2=0.99). 이와 같은 결과는 NIOSH (1991)의 행동한계 시점 3400N 과 Wang et al. (1998) NLE LI 값 1.7-2.0 수준, 그리고 Borg (1998)의 3 scale (Moderate) 수준과 거의 일치되어 본 연구결과에 신뢰성 있는 결과를 보여준 것으로 판단된다. Fig. 6 는 본 연구에서 적용한 평가방법에 대한 서로의 관계를 보여준다.

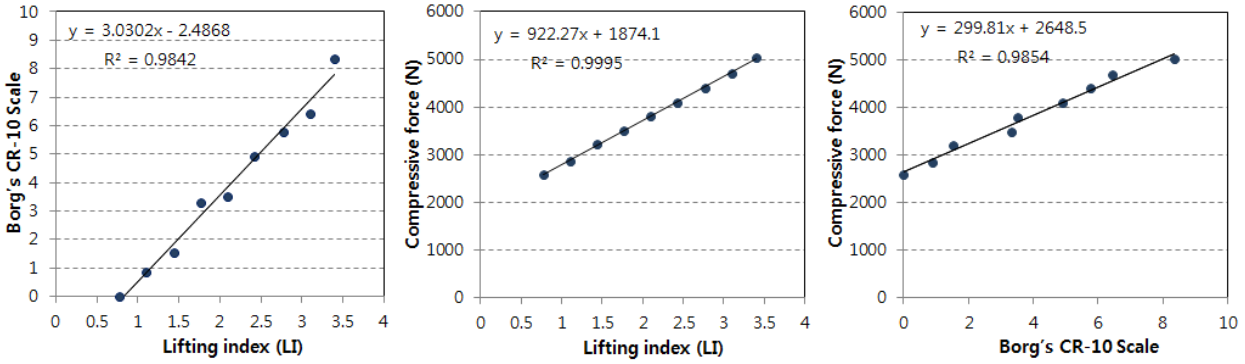


Figure 6. Relationship between physical workload awareness and LI, L5/S1 compressive force

4. Conclusion

본 연구에서는 고령 농업인의 축산 포대사료 취급 작업의 적정무게 수준 평가를 위해 인간공학적 기법을 사용하여 분석하였다. 정신물리학적 평가결과 여자의 경우에는 19kg 이상부터 육체적 부하에 대한 불편도가 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 정신물리학적 회귀모델 추정결과 남자는 18.0 kg, 여자는 15.3kg 이 적정무게 수준임을 파악할 수 있었다. 인체역학 모델 평가와 관찰형 모델 평가 결과 15-18kg 범위로 분석되어 정신물리학적 측정 결과와도 어느 정도 일치하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과로 볼 때,

60 세 이상의 고령 농업인을 위한 축산 포대사료의 중량 권고치는 18kg 에서 19kg 이하 수준 정도로 제공하는 것이 바람직한 것으로 보이며, 19kg 이상의 무게의 경우 시설에 대한 공학적 개선이나 편의장치 제공 등의 인간공학적 개선을 통한 근골격계질환 및 안전사고 예방에 도움이 될 것으로 기대된다. 그리고 본 연구 결과에서 육체적 부담 자각도 평가의 경우 성별에 따른 무게를 확인할 수 있었으나, NLE LI 와 3DPPSS 를 이용한 평가의 경우 성별의 차이를 파악하는 데는 한계가 있었다. 이러한 이유는 신체 측정치를 기반으로 평가되는 NLE LI 와 3DPPSS 의 경우 피실험자의 특성치에 영향을 받을 것으로 판단된다. 이에 향후 한국인 인체표준 측정 데이터를 고려하여 성별에 따른 차이 연구가 진행되어야 할 것이다. 이상의 본 연구결과는 향후 고령 축산 농업인을 위한 축산 포대사료 무게 기준 설정 및 제도적 개선을 위한 기초자료로 활용 가능할 것이다.

Acknowledgements

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ00867803)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Borg, G., Borg's perceived exertion and pain scales, Human Kinetics, 1993.

Chaffin, D. B., and Park, K. S., A longitudinal study of low-back pain as associated with occupational weight lifting factors, American Industrial Hygiene Association Journal, 47, 322-330, 1986.

Drury, C. and Pizatella, T., Hand Placement in Manual Materials Handing, Human Factors, 25(5). 551-562, 1983.

Fathallah, FA., Musculoskeletal disorders in labor-intensive agriculture. Appl Ergon; 41:738-743, 2001. International Organization for Standardization. International Standard ISO 11228-1, Ergonomics - Part 1: Lifting and Carrying. 1st ed, Geneva, 2003.

John Howard, M. D. and LenWelsh, M., Ergonomic Guidelines for Manual Material Handling, DHHS (NIOSH) Publication, 2007.

Kim, I., Kim, KR. and Lee, KS., Ergonomic Interventions to Prevent Work-Related Musculoskeletal Disorders incurred by the Weight Lifting Tasks in Livestock Feed Manual Material Handling. Asian Conference on Erogonomics and Design (AECD). Session Ⅲ-I, 2014.

Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. J. and Kroemer-Elbert, K. E., Engineering Physiology: Bases of Human Factors/Ergonomics, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.

Marriott, H. E. and Lamb, K. L., The use of ratings of perceived exertion for regulating exercise levels in rowing ergometry. Eur J Appl Physiol, 72:267–71, 1996.

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA), MAFRA Notification-No.2014-106: Feed Standards and Specifications, http://law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000009316 (retrieved March 16, 2015).

Mital, A. and Asfour, S., Maximum Frequencies Acceptable to Males for One-hand Horizontal Lifting in the Sagittal Plan, Human Factors, 25(5). 563-751, 1983.

Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA). 2011. Guideline for the Safety of Manual Materials Handling (KOSHA GUIDE G-75-2011). 2012.

NIOSH, Work practices guide for manual lifting, DHHS (NIOSH) Publication, 1998.

NIOSH, Applications manual for the revised 1991 NIOSH lifting equation, DHHS (NIOSH) Publication, 1991.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. DHHS (NIOSH) Publication No. 1-52, NIOSH, Cincinnati, Ohio, 1994.

Osborne, A., Blake, C., Fullen, BM., Meredith, D., Phelan, J, McNamara, J., and Cunningham, C., Prevalence of musculoskeletal disorders among farmers: a systematic review. Am J Ind Med; 55:143-158, 2012.

RDA, The performance evaluation and the effect analysis of convenience equipment, 2010.

Sanders, M. S. and McCormick, E. J., Human Factors in Engineering and Design, 7th ed., McGraw-Hill, New York, 1992.

Statistics Korea (KOSTAT), Agriculture, Forestry and Fisheries Survey 2013, http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/2/7/6/index.board?bmode=download&bSeq=&aSeq=313081&ord=4 (retrieved March 16, 2015).

Wang, M.-J., Carg, A., Chang, Y-C., Shih, Y-C., Yeh, W-Y., and Lee, C-L., The relationship between low back discomfort ratings and the NIOSH lifting index, Human Factors, 40(3), 509-515, 1998.

Waters, T. R., Baron, S. L., Piacitelli, L. A., Anderson, V. P., Skov, T., Haring-Sweeney, M., Wall, D. K. and Fine, L. J., Evaluation of the revised NIOSH lifting equation, Spine, 24, 386-395, 1999.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V, Garg, A. and Fine, L. J., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, Ergonomics, 36(7), 749-776, 1993.